

(51)IntCl. ⁷	識別記号	P I	ナコード(参考)
G02F 1/35	5 0 1	G02F 1/35	5 0 1
H01S 5/026	3/30	H01S 3/18	6 1 6
H04B 10/17	10/16	H04B 9/00	J

審査請求	未請求	請求項の範囲35 O L (全 24 頁)
------	-----	-----------------------

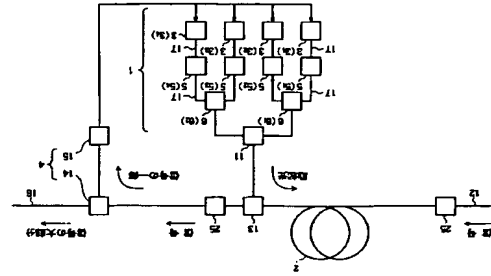
(21)出願番号	特願平11-34833	(71)出願人	00005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 江森 芳博
(22)出願日	平成11年2月12日(1999.2.12)	(72)発明者	江森 芳博 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平10-208450	(72)発明者	赤坂 祥一 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
(32)優先日	平成10年7月23日(1998.7.23)	(72)発明者	如木 真 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	100076369 弁理士 小林 正治

(34)【発明の名称】 ラマン増幅器とそれを用いた光中継器

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 必要な利得を得ることができ、利得平坦化フィルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性を小さくすることができ、E D F A の増幅でも使用することができ、ラマン増幅器を提供する。

【解決手段】 半導体レーザ3はファイブリホロー型の周りでファイブリレーティング等の光波長安定化用の外部共振器が接続されたものを使用する。又、レーザの中心波長の間隔が6nm以上35nm以下、中心波長の最大値と最小値の差は100nm以内とする。各励起光の出力パワーを抽出する手段又は各励起光源による利得が最大となる波長の信号光出力パワーを抽出する手段を持ち、パワーを一定値に保つよう各励起光源の駆動電流を制御する手段4を持つ。中継器へ応用する場合は中継器の信号波長帯より約100nm短い波長帯の励起光を光中継器の構成要素となっているDCFに入射する手段をもつ。増幅器1とDCFの中継と増幅器2とDCF出力の中間に信号光をモニタする手段や励起光のパワーを調節する手段等をもつ。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の励起光を発生する励起光発生手段(1)を備え、同励起光発生手段(1)から出力される複数の励起光と光ファイバ(2)に伝播される信号光とを混合して当該信号光にラマン利得を与えるラマン増幅器であって、前記励起光発生手段(1)はファイブリホロー型、DFB型、DBR型の半導体レーザ又はMOFA(3)を用いて構成し、各励起光はその中心波長を互いに異なるものとし、且つ中心波長の間隔を6nm以上35nm以下であることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項2】複数の励起光は中心波長が最大のもとの最も小のものとの波長の差を100nm以内であることを特徴とする請求項1に記載のラマン増幅器。

【請求項3】励起光発生手段(1)は隣り合う波長の励起光を光ファイバ(2)に互いに異なる2方向に伝播して信号光を双方方向増幅する構成であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のラマン増幅器。

【請求項4】励起光発生手段(1)は複数の励起光を2つのグループに分けて配置すると共に、同一グループ内に隣接波長の励起光が入るよう構成して矢々のグループ内で励起光を混合する構成とし、グループ内で混合された2つの励起光を光ファイバ(2)に互いに異なる2方向に伝播する様にしたことを特徴とする請求項3に記載のラマン増幅器。

【請求項5】入力光又は出力光をモニタし、その結果に基づいて励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御して、出力光パワーを所定値に保つ出力光パワー制御手段(4)を備えることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項6】出力光をモニタし、その結果に基づいて励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御して、増幅器出力の波長依存性を平坦化する出力光パワー制御手段(4)を備えることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項7】出力光パワー制御手段(4)は、出力光から分離したモニタ光を各励起光の波長に各々約100nmを加えた波長の波長光に分離してそれら波長光をモニタし、各波長光のパワーを揃える様に励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御するものであることを特徴とする請求項5又は請求項6に記載のラマン増幅器。

【請求項8】出力光パワー制御手段(4)は、出力光から分離したモニタ光を更に励起光と同数に分配して、それらから各励起光の波長に各々約100nmを加えた波長光を透過させて各励起光をモニタし、各励起光のパワーを揃える様に励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御するものであることを特徴とする請求項5又は請求項8に記載のラマン増幅器。

【請求項9】入力光パワーと出力光パワーとをモニタし、それらの比が一定になる様に励起光発生手段(1)の各励起光パワーを制御して、利得を所定値に保つ出力

特開2000-98433

2

光パワー制御手段(4)を備えることを特徴とする請求項1乃至請求項8のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項10】励起光発生手段(1)はファイブリホロー型の半導体レーザ(3)の出力側にファイバグレーティング等の波長安定化用の外部共振器(5)を設けて構成することを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項11】励起光発生手段(1)はファイブリホロー型の半導体レーザ(3)の出力側に励起光を偏波合成するための偏波合成器(6)を設けて構成することを特徴とした請求項1乃至請求項10のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項12】励起光発生手段(1)は、マッハツェンダ干渉計を原理とする平面光波回路型波長合成器を設けて構成することを特徴とする請求項1乃至請求項11のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項13】偏波面を90度回転する偏波面回転手段(7)を備え、光ファイバ(2)に励起光発生手段(1)で発生された複数の励起光と前記偏波面回転手段(7)により偏波面が90度回転された前記各励起光と偏波面が直交される励起光とが同時に存在する様にしたことを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項14】増幅用の光ファイバ(2)は非線形屈折率が3.5E-20[m²/W]以上であることを特徴とする請求項1乃至請求項13のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項15】増幅用の光ファイバ(2)が伝送路の一部として存在するものであることを特徴とする請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項16】増幅用のファイバ(2)として5Wと200ps/nm未満の分散を持つファイバを用いることを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項17】請求項18に記載のラマン増幅器において、-200ps/nm未満の分散を持つファイバから5Wへ向って励起光が伝播することを特徴とするラマン増幅器。

【請求項18】増幅用の光ファイバ(2)が信号光を伝播するための伝送用ファイバから独立したものであり、同伝送用ファイバ中に挿入可能なラマン増幅用ファイバとして存在するものであることを特徴とする請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項19】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて同光ファイバ伝送路(8)における損失を補償する光中継器であって、請求項1乃至請求項18のいずれかに記載のラマン増幅器(8)を備え、同ラマン増幅器(9)で光ファイバ伝送路(8)における損失を補償することを特徴とする光中継器。

【請求項20】請求項19に記載の光中継器において、

30

4

ランマン増幅器(8)の残留励起光を光ファイバ伝送路(8)に入射し、光ファイバ伝送路(8)におけるランマン増幅効果を利用することを特徴とする光中継器。

【請求項21】請求項19に記載の光中継器において、ランマン増幅器(8)の前段又は後段又は前後両段に希土類添加ファイバ増幅器(10)を備えることを特徴とする光中継器。

【請求項22】請求項21に記載の光中継器において、ランマン増幅器(8)の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器(10)の励起光として利用することを特徴とする光中継器。

【請求項23】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて同光ファイバ伝送路(8)における波長分散を補償する光中継器であって、請求項1乃至請求項18のいずれかに記載のランマン増幅器(8)を備え、その光ファイバ(8)における波長分散を補償し、光ファイバ伝送路(8)及び光ファイバ(2)における損失の損失の一部又は全を補償することを特徴とする光中継器。

【請求項24】請求項23に記載の光中継器において、ランマン増幅器(9)の残留励起光を光ファイバ伝送路(8)に入射し、光ファイバ伝送路(8)におけるランマン増幅効果を利用することを特徴とする請求項21に記載の光中継器。

【請求項25】請求項23に記載の光中継器において、ランマン増幅器(9)の前段又は後段又は前後両段に希土類添加ファイバ増幅器(10)を備えることを特徴とする光中継器。

【請求項26】請求項25に記載の光中継器において、ランマン増幅器の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器(10)の励起光として利用することを特徴とする光中継器。

【請求項27】分散補償用ファイバである光ファイバ(2)への入力レベルの変動や同ファイバ(2)における損失の変動を同光ファイバ(2)におけるランマン増幅により補償して、当該光ファイバ(2)からの出力を所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とする請求項23乃至請求項26のいずれかに記載の光中継器。

【請求項28】分散補償用ファイバである光ファイバ(2)における損失又は利得を同光ファイバ(2)におけるランマン増幅により補償して一定に保つ制御手段を備えることを特徴とする請求項23乃至請求項26のいずれかに記載の光中継器。

【請求項29】希土類添加ファイバ増幅器(10)の利得を一定に保ち、ランマン増幅器(9)の利得によって中継器の利得を調整する様にしたことを特徴とする請求項21、22、25、26、27、28のいずれかに記載の光中継器。

【請求項30】希土類添加ファイバ増幅器(10)の利得の波長依存性をランマン増幅器(9)の利得の波長依存

性を使って補償する様にしたことを特徴とする請求項21、22、25、26、27、28、29のいずれかに記載の光中継器。

【請求項31】光ファイバ伝送路(8)中に挿入されて同光ファイバ伝送路(8)における損失と波長分散を補償する光中継器であって、励起光の波長が単一であるランマン増幅器(8)を備え、同ランマン増幅器(8)の前段又は後段又は前後両段に希土類添加ファイバ増幅器(10)を備えることを特徴とし、ランマン増幅器(8)の増幅用の光ファイバ(2)に分散補償用ファイバを用いることを特徴とする光中継器。

【請求項32】請求項31に記載の光中継器において、ランマン増幅器(8)の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器(10)の励起光として利用することを特徴とする光中継器。

【請求項33】請求項31又は請求項32に記載の光中継器において、分散補償用ファイバであるランマン増幅用の光ファイバ(2)への入力レベルの変動や同ファイバ(2)におけるランマン増幅により補償して所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とする光中継器。

【請求項34】請求項31又は請求項32に記載の光中継器において、分散補償用ファイバであるランマン増幅用の光ファイバ(2)における損失又は利得を同ファイバ(2)におけるランマン増幅により補償して所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とする光中継器。

【請求項35】請求項31又は請求項32に記載の光中継器において、希土類添加ファイバ増幅器(10)の利得を一定に保ち、ランマン増幅器(8)の利得によって中継器の利得を調整する様にしたことを特徴とする光中継器。

【発明の詳細な説明】

【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は各種光通信システムで信号光の増幅に使うことができるランマン増幅器とそれを用いた光中継器に関するものであり、特に波長分散多重光の増幅に適するものである。

【0002】

【従来の技術】現在の光ファイバ通信システムで用いられる光増幅器のほとんどは、希土類添加ファイバ増幅器である。特にEr(エルビウム)を添加したファイバを用いるEr添加光ファイバ増幅器(以下、EDFAと記載する)がよく用いられる。しかし、EDFAの実用的な利得波長帯は1530nmから1610nm程度である。(参考文献:Ericsson, Lett, vol.33, no.23, pp.1967-1968)また、EDFAは利得に波長依存性を持っており、波長分散多重光に用いる場合、信号光の波長によって利得に差が出る。

図23はEDFAの利得波長依存性の一例を示したものであるが、1540nm以下と1560nm以上では特に波長に対する利

構成である。図46はこの逆事例であり、分散補償用ファイバが2つのEr添加ファイバ増幅器B、Cで構成され構成となっている。第1のEr添加ファイバ増幅器Bは低レベルの信号光を比較的高いレベルに増幅するものであり、雑音特性に優れていることを特徴としている。第2のEr添加ファイバ増幅器Cは分散補償ファイバAにおいて減衰した光信号を再び高いレベルに増幅するものであり、出力レベルが高いことを特徴としている。

【0008】ところで前記光中継器は、その設計に際して、中継器入力レベル、中継器出力レベル、分散補償量(分散補償用ファイバAにおける損失)の各々を適切に設定する必要がある。また、分散補償用ファイバAの入力光レベルに上限値が存在するという制限項目もある。これは、分散補償用ファイバAへの入力パワーを大きくすると、分散補償用ファイバA中での非線形効果の影響が大きくなり、伝送波形の劣化が著しくなることによる。この分散補償用ファイバAへの入力パワーの上限値は、1波伝送時には自己位相変調(SPM)効果、WDM伝送時には相互位相変調(XPM)効果が決定要因を考慮して、その条件下で利得平坦度と雑音特性に優れた中継器を設計しなければならない。

【0009】図47は中継器内部における光レベルダイアグラムを示したものである。第1のEr添加ファイバ増幅器Bの利得G_B[dB]は、中継器入力レベルPin[dB]と分散補償用ファイバAへの入力上限値Pin_{ld}[dB]の差に設定される。第2のEr添加ファイバ増幅器Cの利得G_C[dB]は、分散補償用ファイバAにおける損失ld[dB]と、中継器利得Gr[dB]と、第1のEr添加ファイバ増幅器Bの利得G_B[dB]とからGr+ld-G_B[dB]に設定される。これらの設計パラメータはシステム別に異なるため、システム毎にG_B[dB]、G_C[dB]は異なる。従って、Er添加ファイバ増幅器B、Cはシステム毎に再設計する必要がある。このようなシステムにおける雑音特性は、分散補償用ファイバAにおける損失ld[dB]と深い関係があり、損失が大きいく程、雑音特性が悪くなること

が知られている。また、現在は伝送路の損失や分散補償用ファイバAの損失のばらつきを、Er添加ファイバ増幅器BやCの利得を変化させて補償したり、別途可変減衰器等を設けて調整しているが、前者は利得平坦度を劣化させ、後者は雑音特性を劣化させるため一長一短がある。

【0010】
【発明が解決しようとする課題】光ファイバ通信ではEr添加光ファイバ増幅器が普及しているが、Er添加光ファイバ増幅器にもいくつかの問題がある。また、ランマン増幅器も一般的な半導体レーザの出力が100から200mW程度であり、得られる利得は比較的小さいとか、利得が出力起光のパワーや波長の変化に敏感であり、比較的励起力

50 のファイバペロ型

そのモードホップが引き起こす利得変動による雑音が増加すると、利得の大きさを調整する際に、励起レーザの駆動電流を変化させる必要があるが、駆動電流を変化させた場合の中心波長の変動は最大35nm程度あり、利得の波長依存性が大きく変わってしまうとかいった課題がある。また、このような中心波長のフットは励起光を多重化するようなカプラーの結合損失の変化にもつながるの好ましくない課題がある。更に、光中継器もシステム毎に感度加ファイン増幅器B、Cを設計しなおす必要がある等課題がある。また、分散補償用ファイバを抑入することによる雑音特性の劣化は、現行の方式では、避け難い課題である。

【0011】
【課題を解決するための手段】本発明の目的は、必要な利得を得ることができ、利得平坦化フィルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性を小さくすることができ、EDFAの増幅でも使用することができるラマン増幅器を提供することであり、また、このラマン増幅器をE増幅ファイバ増幅器（EDFA）と分散補償用光ファイバ（DCF）で構成される光中継器に応用して、システム毎にEDFAを再設計する必要なく、光中継器の特性を劣化させることなく、伝送路損失やDCF損失のばらつきを補償することでもできる光中継器を提供する。また、DCFをラマン増幅器することは、従来避けることのできなかったDCF挿入に起因する雑音特性の劣化を軽減することを示す。

【0012】本発明のうち請求項1記載のラマン増幅器は図1又は図2又は図3に示す様に、複数の励起光を発生する励起光発生手段1を備え、同励起光発生手段1から出力される複数の励起光と光ファイバ2に伝播される信号光とを合波して当該信号光にラマン利得を与えるラマン増幅器であって、前記励起光発生手段1はファイバペロー型、DFB型、DBR型の半導体レーザ又はMOA3を用いて構成し、各励起光はその中心波長を互いに異なるものとし、且つ中心波長の間隔をnm以上35nm以下とすることを特徴とするものである。

【0013】本発明のうち請求項2記載のラマン増幅器は図3に示す様に、励起光発生手段1は隣り合う波長の励起光を光ファイバ2に互いに異なる2方向に伝播して信号光を双方向励起する構成であることを特徴とするものである。

【0015】本発明のうち請求項4記載のラマン増幅器は図3に示す様に、励起光発生手段1は複数の励起光を2つのグループに分けて配置すると共に、同一グループ内に隣接波長の励起光が入らない様にして夫々のグループ内で励起光を合波する構成とし、グループ内で合波さ

れた2つの励起光を光ファイバ2に互いに異なる2方向に伝播する様にしたことを特徴とするものである。

【0016】本発明のうち請求項5記載のラマン増幅器は図26又は図27に示す様に、入力光又は出力光をモニタし、その結果に基づいて励起光発生手段1の各励起光パワーを制御して、出力光パワーを所定値に保つ出力光パワー制御手段4を備えることを特徴とするものである。

【0017】本発明のうち請求項6記載のラマン増幅器は図4又は図5に示す様に、ラマン利得を受けた信号光を含む出力光をモニタし、その結果に基づいて励起光発生手段1の各励起光パワーを制御して、増幅器出力の波長依存性を平坦化する出力光パワー制御手段4を備えることを特徴とするものである。

【0018】本発明のうち請求項7記載のラマン増幅器は図4に示す様に、出力光パワー制御手段4は、出力光から分岐したモニタ光を各励起光の波長に各々約100nmを加えた波長の波長光に分散してそれぞれ波長光をモニタし、各波長光のパワーを揃える様に励起光発生手段1の各励起光パワーを制御するものであることを特徴とするものである。

【0019】本発明のうち請求項8記載のラマン増幅器は図5に示す様に、出力光パワー制御手段4は、出力光から分岐したモニタ光を更に励起光と同数に分配して、それから各励起光の波長に各々約100nmを加えた波長光を透過させて各波長光をモニタし、各波長光のパワーを揃える様に励起光発生手段1の各励起光パワーを制御するものであることを特徴とするものである。

【0020】本発明のうち請求項9記載のラマン増幅器は図28に示す様に、入力光パワーと出力光パワーとをモニタし、それらの比が一定になる様に励起光発生手段1の各励起光パワーを制御して、利得を所定値に保つ出力光パワー制御手段4を備えることを特徴とするものである。

【0021】本発明のうち請求項10記載のラマン増幅器は図1又は図2又は図3に示す様に、励起光発生手段1はファイバペロー型、DFB型、DBR型の半導体レーザ又はMOA3等の波長安定化用の外部共振器5を設けて構成することを特徴とするものである。

【0022】本発明のうち請求項11記載のラマン増幅器は図1又は図2又は図3に示す様に、励起光発生手段1はファイバペロー型、DFB型、DBR型の半導体レーザ3の出力側に励起光を偏波合成するための偏波合成器8を設けて構成することを特徴としたものである。

【0023】本発明のうち請求項12記載のラマン増幅器は図1又は図2又は図3に示す様に、励起光発生手段1は複数の波長のファイバペロー型、DFB型、DBR型の半導体レーザ又はMOAをマッパウェンダ干渉計を原理とする平面波回折型波長合成装置を設けて構成することを特徴とするものである。

【0024】本発明のうち請求項13記載のラマン増幅器は図6（a）又は図6（b）に示す様に、偏波面を90度回転する偏波面回転手段4を備え、光ファイバ2に励起光発生手段1より発生された複数の励起光と前記偏波面回転手段7により発生された前記各励起光と偏波面が直交する励起光とが同時に存在する様にしたことを特徴とするものである。

【0025】本発明のうち請求項14記載のラマン増幅器は、増幅用の光ファイバ2は非線形屈折率係数が3×10²⁰ [m²/W]以上であることを特徴とするものである。

【0026】本発明のうち請求項15記載のラマン増幅器は、増幅用の光ファイバ2が伝送路の一部として存在するものであることを特徴とするものである。

【0027】本発明のうち請求項16に記載のラマン増幅器は増幅用ファイバ2が伝送路となっており、その内訳が5Wと-20ps/nm/km未満の分散を持つファイバを接合して構成されたものであることを特徴とするものである。

【0028】本発明のうち請求項17に記載のラマン増幅器は増幅用ファイバ2が伝送路となっており、その内訳が5Wと-20ps/nm/km未満の分散を持つファイバを接合して構成されたものであることを特徴とするものである。

【0029】本発明のうち請求項18記載のラマン増幅器は、増幅用の光ファイバ2が得号光を伝播するためのファイバ中に挿入可能なラマン増幅用ファイバとして存在するものであることを特徴とするものである。

【0030】本発明のうち請求項19記載の光中継器は図1に示す様に、光ファイバ伝送路8中に挿入されて同光ファイバ伝送路8における損失を補償する光中継器であって、請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のラマン増幅器9を備え、同ラマン増幅器9で光ファイバ伝送路8における損失を補償する構成であることを特徴とするものである。

【0031】本発明のうち請求項20に記載の光中継器は図29～図32に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起光を光ファイバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路8におけるラマン増幅効果を利用することを特徴とするものである。

【0032】本発明のうち請求項21記載の光中継器は図8に示す様に、ラマン増幅器9の前段又は後段又は後面段に希土類添加ファイバ増幅器10を備えることを特徴とするものである。

【0033】本発明のうち請求項22記載の光中継器は図33～図36に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用することを特徴とするものである。

【0034】本発明のうち請求項23記載の光中継器は

図45に示す様に、光ファイバ伝送路8中に挿入されて同光ファイバ伝送路8における波長分散を補償する光中継器であって、請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のラマン増幅器9を備え、その光ファイバ2に分散補償用ファイバを用いて光ファイバ伝送路8における波長分散を補償し、光ファイバ伝送路及び増幅用の光ファイバ2における損失の一部又は全てを補償することを特徴とするものである。

【0035】本発明のうち請求項24に記載の光中継器は図29～図32に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起光を光ファイバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路8におけるラマン増幅効果を利用することを特徴とするものである。

【0036】本発明のうち請求項25記載の光中継器は図8に示す様に、ラマン増幅器9の前段又は後段又は後面段に希土類添加ファイバ増幅器10を備えることを特徴とするものである。

【0037】本発明のうち請求項26記載の光中継器は図33～図36に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用することを特徴とするものである。

【0038】本発明のうち請求項27記載の光中継器は図9に示す様に、分散補償用ファイバである光ファイバ2への入力レベルの変動や同ファイバ2における損失の変動を同光ファイバ2におけるラマン増幅により補償して、当該光ファイバ2からの出力を所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とするものである。

【0039】本発明のうち請求項28記載の光中継器は図10に示す様に、分散補償用ファイバである光ファイバ2における損失又は利得を同光ファイバ2におけるラマン増幅により補償して一定に保つ制御手段を備えることを特徴とするものである。

【0040】本発明のうち請求項29記載の光中継器は、希土類添加ファイバ増幅器10の利得を一定に保ち、ラマン増幅器9の利得によって中継器の利得を調整する様にしたことを特徴とするものである。

【0041】本発明のうち請求項30記載の光中継器は図11に示す様に、希土類添加ファイバ増幅器10の利得の波長依存性をラマン増幅器9の利得の波長依存性を使得て補償する様にしたことを特徴とするものである。

【0042】本発明のうち請求項31記載の光中継器は図8に示す様に、光ファイバ伝送路8中に挿入されて同光ファイバ伝送路8における損失と波長分散を補償する光中継器であって、励起光の波長が単一であるラマン増幅器9を備え、同ラマン増幅器9の前段又は後面段に希土類添加ファイバ増幅器10を備えることを特徴とし、ラマン増幅器9の増幅用の光ファイバ2に分散補償用ファイバを用いることを特徴とするものである。

【0043】本発明のうち請求項32記載の光中継器は

(8)

14

域化することになる。
【0058】本発明のうち請求項14記載のラマン増幅器では、光ファイバ2に非線形屈折率 n_2 が $3.5 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 以上のものを使用するため、これまでの研究による成果であるが、十分な増幅効果が得られる。
【0059】本発明のうち請求項15乃至請求項17記載のラマン増幅器では、光ファイバ2は信号光を伝播するための伝送用ファイバの一部として存在するので、伝送用光ファイバにそのまま増幅器を構成することが可能である。

10

【0060】本発明のうち請求項18記載のラマン増幅器では、光ファイバ2は信号光を伝播するための伝送用ファイバと独立した、伝送用ファイバ中に挿入されるラマン増幅用ファイバとして存在するため、光ファイバ2にラマン増幅に適した光ファイバを利用することや、波長分散補償用ファイバを利用することが容易で、また集中型増幅器を構成することができ、

20

【0061】本発明のうち請求項19記載の光中継器では、ラマン増幅器を用いて光ファイバ伝送路8の損失を補償するため、請求項1乃至請求項18に記載のラマン増幅器の作用を持つ光中継器を得ることができる。

20

【0062】本発明のうち請求項20及び請求項24記載の光中継器では、ラマン増幅器の残留励起光を光ファイバ伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路8におけるラマン増幅効果を利用することにより、光ファイバ伝送路8の損失の一部を補償することができる。

30

【0063】本発明のうち請求項21記載の光中継器では、ラマン増幅器の前段又は後段又は前段両方に希土類添加ファイバ増幅器9を備え、これらラマン増幅器9及び希土類添加ファイバ増幅器10で光ファイバ伝送路8の損失を補償するため、様々な伝送系に適する所望の増幅特性を得ることができる。

30

【0064】本発明のうち請求項22及び請求項26記載の光中継器では、ラマン増幅器の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用することにより、使用する半導体レーザの数を減らすことができる。

40

【0065】本発明のうち請求項23に記載の光中継器では、ラマン増幅器9の光ファイバ2に分散補償用ファイバを用いているため、当該ラマン増幅器9で光ファイバ伝送路8の波長分散を補償し、光ファイバ伝送路8及び増幅用ファイバ2における損失の一部又は全てを補償することができる。

50

【0066】本発明のうち請求項25記載の光中継器では、ラマン増幅器9の前段又は後段又は前段両方に希土類添加ファイバ増幅器10を備え、これらラマン増幅器9及び希土類添加ファイバ増幅器10で光ファイバ伝送路8の損失と波長分散を補償するため、様々な伝送系に適する所望の増幅特性を得ることができる。

50

【0067】また、本発明のうち、ラマン増幅器9と希

(7)

12

加えた6mが励起光の中心波長間隔の下限として適切である。一方、図13(a)の様に半導体レーザ3の中心波長の間隔を35nm以上とすると、図13(b)の様に隣り合う波長の励起光によって得られるラマン利得帯域の中間に利得の谷がで、利得平坦度が悪くなる。これは、1つの励起光によって得られるラマン利得と重なり、利得ピーク波長から15nmから20nm離れると利得が半分になることに起因する。従って、励起光の中心波長の間隔を6nm以上33nm以下とすることで、利得平坦化フィリタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性を小さくすることができる。

10

【0048】本発明のうち請求項2記載のラマン増幅器では、励起光の中心波長の最大値と最小値の差を100nm以内とするため、励起光と信号光との波長の重複を防止して信号光の波形劣化を防止することができる。励起光と信号光の波長が近いと信号光の波形劣化につながるため、励起光と信号光の波長は重複しないように選ばなければならないが、励起光が1.4 μm 帯の場合には、励起光の中心波長の最大値と最小値の差を100nm以下とすると、図14に示す様に1つの励起光から生じる利得の中心波長とその励起光との波長の差は約100nmであるため、励起光と信号光との波長の重複を防止することができ、

20

【0050】本発明のうち請求項3、4記載のラマン増幅器では、隣り合う波長の励起光を光ファイバ2に互いに異なる2方向に伝播して信号光を対方向向くして構成したため、図1や図2、図3に示されるWDMカブラ1に要求される波長特性をあまりくすすることができ、これは図15に示すように、双方方向合わせた全ての励起光では中心波長が $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ となり間隔が6nm以上35nm以下であるが、一方の励起光だけについてみると中心波長が λ_1 と $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ となり波長間隔は2倍になり、WDMカブラ11の要求特性に余裕を持たすことができる。

30

【0051】本発明のうち請求項5記載のラマン増幅器では、ラマン増幅器への入力光又は出力光をモニタし、その結果に基づいて励起光発生手段1の各励起光パワーを制御して、ラマン増幅器の出力光パワーを所定値に保つ制御手段4を備えるため、ラマン増幅器への入力信号パワーの変動やラマン増幅用ファイバの損失のばらつきによらず、一定の出力を得ることができる。

40

【0052】本発明のうち請求項6記載のラマン増幅器では、ラマン利得を平坦化する出力光パワー制御手段4を備えるので、利得を平坦化することができる。特に請求項7、8記載のラマン増幅器では、図18(a)や(b)に示す様に各励起光の波長に各々約100nmを加えた波長の波長光をモニタし、それら波長光のパワーを揃える様に各励起光のパワーを制御するため、利得を平坦化することができる。また、後に記載する波長安定化用のファイバグレーティング5 (外部共振器5) を接続した

50

11

図33～図36に示す様に、ラマン増幅器9の残留励起光を希土類添加ファイバ増幅器10の励起光として利用することと特徴とするものである。

【0044】本発明のうち請求項33に記載の光中継器は図8に示す様に、分散補償用ファイバ2であるラマン増幅用の光ファイバ2への入力レベルの変動や同ファイバ2における損失変動を同ファイバ2におけるラマン増幅に反映して、当該光ファイバ2からの出力を所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とするものである。

10

【0045】本発明のうち請求項34に記載の光中継器は図10に示す様に、分散補償用ファイバ2であるラマン増幅用の光ファイバ2における損失又は利得を同ファイバ2におけるラマン増幅により補償して所定値に保つ制御手段を備えることを特徴とするものである。

【0046】本発明のうち請求項35に記載の光中継器は図11に示す様に、希土類添加ファイバ増幅器10の利得を一定に保ち、ラマン増幅器9の利得によって中継器の利得を調整する様にしたことと特徴とするものである。

20

【0047】次に本発明のラマン増幅器とそれを用いた光中継器の作用について説明する。本発明のうち請求項1記載のラマン増幅器では図1、2、3に示す様に、励起光発生手段1に小型で比較的高出力のファイバペロー型の半導体レーザ3を用いる場合、比較的高い利得を得る3は発振波長の線幅が広いため、励起光による誘導ブリルアン散乱の発生をばねなくすることができ、DPR型の半導体レーザ又はMOPAを用いる場合、発振波長の波長範囲が比較的小さいため、利得形状が駆動条件によって変化する可能性がない。また、誘導ブリルアン散乱の発生は変動をかけることにより抑制することができ、

【0048】更に、励起光を中心波長の間隔を6nm以上35nm以下とすることにより利得平坦化フィルタを必要としない程度に利得の波長依存性を小さくすることができ、励起光の中心波長間隔を6nm以上とする理由は、反射帯域幅の狭い外部共振器5を接続したファイバペロー型の半導体レーザ3の発振帯域幅が図12に示す様に約3nmであること、励起光を合成するためのWDMカブラ11 (図1、2、3) に合致効率を良くするための励起光間の波長間隔にいくらかの余裕をもたせることを可能にするためである。WDMカブラ11は、異なる波長の光を別々のポートから入射し、入射光がほとんど損失を受けるとなく1つの出力ポートへ結合するように設計されたものであるが、設計波長の中心の波長の光に対しては、どちらの入力ポートを使用しても損失が大きくなる。例えば、あるWDMカブラ11ではこの損失が大きくなる波長帯域の幅が3nmであった。従って、この帯域内に半導体レーザ3の帯域が含まれないようにするために、図12に示す様に半導体レーザ3の帯域幅を3nmを

御手段の第1の例を示すブロック図。

【図5】本発明のラマン増幅器における出力光パワー制御手段の第2の例を示すブロック図。

【図6】(a)、(b)は本発明のラマン増幅器における偏波面回転手段の異なる例を示すブロック図。

【図7】本発明の光中継器の第1の実施形態を示すブロック図。

【図8】本発明の光中継器の第2の実施形態を示すブロック図。

【図9】本発明の光中継器の第3の実施形態を示すブロック図。

【図10】本発明の光中継器の第4の実施形態を示すブロック図。

【図11】本発明の光中継器の第5の実施形態を示すブロック図。

【図12】励起光の波長間隔を6nm以上にする理由を示した説明図。

【図13】(a)、(b)は励起光の波長間隔を35nm以下にする理由を示した説明図。

【図14】励起光の最大波長と最小波長との差を100nm以下にする理由を示した説明図。

【図15】双方向励起における励起光の波長間隔の例を示した説明図。

【図16】(a)は励起光パワーを一定とする場合の帯域利得を示した説明図、(b)は励起光パワーを制御して帯域利得を平坦化する様子を示した説明図。

【図17】(a)、(b)は光中継器の設計に關係する特性を示した説明図。

【図18】EDFAの利得変動と平坦度劣化の關係を示した説明図。

【図19】(a)は可変減衰器による入力レベル変動の補償の様子を示した説明図、(b)は可変減衰器によるDCF損失変動の補償の様子を示した説明図。

【図20】(a)、(b)はDCFラマン増幅効果を利用した光中継器の設計に關係する特性を示した説明図。

【図21】(a)はラマン増幅効果による入力レベル変動の補償の様子を示した説明図、(b)はラマン増幅効果によるDCF損失変動の補償の様子を示した説明図。

【図22】ラマン増幅器による出力スペクトルの異なる例を示した説明図。

【図23】EDFACによる利得の波長依存性を示した説明図。

【図24】EDFACによる利得の変動を示した説明図。

【図25】ラマン増幅による利得の波長依存性を示した説明図。

【図26】入力光をモニタして出力光パワーを制御する制御方法のブロック図。

【図27】出力光をモニタして出力光パワーを制御する制御方法のブロック図。

【図28】入力光と出力光とをモニタして出力光パワー

名励起光のパワーが個別に制御される。

【0089】(光中継器の実施形態6)本件発明の光中継器は図1～図3に示す構成のラマン増幅器の増幅用ファイバ2に分散補償ファイバ3を用いて、光ファイバ伝送路8の波長分散を補償し、光ファイバ伝送路8及び増幅用ファイバ2における損失の一部又は全てを補償する光中継器を構成することもできる。

【0090】(光中継器の実施形態7)前記光中継器の各実施形態において、図41から図4に示す様な励起光発生手段1を使用したラマン増幅器を備えた光中継器を構成することもできる。

【0091】(光中継器の実施形態8)図29～図3、に示す様にラマン増幅器9の増幅用ファイバ2の途中にWMカブラ13を挿入し、増幅用ファイバ2に伝播される励起光発生手段1からの残留励起光をラマン増幅器9の入力側又は出力側の光ファイバ伝送路8に設けたWMブラ27を通じて伝送路8に入射し、光ファイバ伝送路8においてもラマン利得を生じさせることができる。なお、図29～図32において26は光アイソレータである。

【0092】(光中継器の実施形態8)図3、～図36に示す様に、光中継器がラマン増幅器9とEDFA10とからなる場合、ラマン増幅器9の増幅用ファイバ2の途中にWMカブラ13を挿入し、増幅用ファイバ2に伝播される励起光発生手段1からの残留励起光をEDFA10に入射し、同EDFA10の励起光/補助励起光とすることができ、なお、図33～図36において26は光アイソレータである。

【0093】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のラマン増幅器では、中心波長の間隔が6nm以上35nm以下であり、中心波長の最大値と最小値の差が100nm以内であるように励起光源の波長を選択することにより、利得平坦化フィルタを使用する必要がない程度に利得の波長依存性が小さくかつ利得が変化しても平坦度を保つことができる。また、この増幅器は伝送路の損失と波長分散を補償する光中継器として応用することも可能である。EDFAとの組み合わせで構成される中継器においては、中継器の入力変動やDCF損失変動によるEDFAの利得変動を抑え、利得平坦度の劣化を回避することができ、様々なシステムに適用することができ、

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のラマン増幅器の第1の実施形態を示すブロック図。

【図2】本発明のラマン増幅器の第2の実施形態を示すブロック図。

【図3】本発明のラマン増幅器の第3の実施形態を示すブロック図。

【図4】本発明のラマン増幅器における出力光パワー制

存性との違いをうまく合わせて、EDFA10が持つ利得の波長依存性をラマン増幅器9の波長依存性により低減することも可能である。

【0084】(光中継器の実施形態2)図8は本発明のラマン増幅器を用いて構成された光中継器の第2の実施形態であり、図7の光中継器において、ラマン増幅器9の前段にもEDFA10を設けたものである。

【0085】(光中継器の実施形態3)図9は本発明のラマン増幅器を用いて構成された光中継器の第3の実施形態であり、2つのEDFA10の間に分散補償ファイバ(DCF)を増幅ファイバ2として用いるラマン増幅器9が設けられたものである。ラマン増幅器9とその後のEDFA10との間には、ラマン増幅器9からの出力光を分散する分岐カブラ23と、その分岐光をモニタしてラマン増幅器9の利得を制御するモニタ信号検出及び制御信号発生回路24とが設けられている。モニタ信号検出及び制御信号発生回路24はラマン増幅器9の出力パワーを所定値に保つことができるような制御回路である。なお、ラマン増幅器9自体が図4や図5に示す出力光パワー制御手段4を備える場合は、出力光のパワーが所定値になるように制御されるとき同時に、複数の出力光の間のレベル偏差が小さくなるようにも励起光のパワーが制御される。

【0086】図9の光中継器では、ラマン増幅器9の出力光レベル、即ち第2のEDFA10への入力光レベルがDCFの損失や第1のEDFA10の出力レベルに影響されることがなく、常に一定に保たれる。これは、中継器の出力が規定されている場合に、第2のEDFA10の利得が一定に保たれるということを保証する。これにより、DCFの損失変動などに起因する第2のEDFA10の利得平坦度劣化が回避される。また、第1のEDFA10が利得一定となるように制御するならば、中継器への入力の変動はラマン増幅器9の利得の変動で補償される。つまり、中継器利得の調整はラマン増幅器9の利得のみで行われることとなり、EDFA10の利得変動による平坦度の劣化を完全に回避することができる。

【0087】(光中継器の実施形態4)図10は図9の実施形態において、第1のEDFA10とラマン増幅器9との間にも光レベルをモニタしてラマン増幅器9の利得を調整する制御手段を付加したものである。これを用いて、ラマン増幅器9の入力と出力のレベル差を一定に保つように励起光を制御することができる。これはDCFの損失ばらつきのみを補償することができる。

【0088】(光中継器の実施形態5)図11は上記実施形態において、ラマン増幅器9内に設けられている利得平坦化モニタ機構を中継器の出力端に移し、中継器全体の利得を平坦化するモニタとして利用する例である。この場合、第1のEDFA10及び第2のEDFA10は利得一定制御と出力一定制御のどちらでも構わない。中継器出力における出力信号間のレベル偏差が小さくなるように

り、この場合、箇々の励起光による最大増幅波長(励起光波長100nmを加えた波長)付近の光を透過し、具体的に、励起波長が1430nmと1460nmとならば、1530nmと1560nm付近の波長光を透過する。光/電変換手段19は受光した波長光を電気信号に変換するもので、受光レベルの大小に応じて出力電圧が変化する。制御回路20は光/電変換手段19からの出力電圧に応じて半導体レーザ3の駆動電流を変化させるものであり、光/電変換手段19からの出力電圧を演算処理して、制御各波長光のパワーを描る様に半導体レーザ3を制御する。即ち、出力光パワー制御手段4はラマン利得の波長依存性を解消して利得を平坦化する働きをする。図4、5は図27に示す様に出力光をモニタして励起光発生手段1を制御する構成であるが、図26に示す様に入力光をモニタして励起光発生手段1を制御する構成とすることもでき、或いは図28に示す様に出力光と入力光とを共にモニタして励起光発生手段1を制御する構成とすることもできる。

【0082】前記各構成のラマン増幅器においては、励起光を偏波面回転手段4で合成する代わりに、図6(a)、(b)に示す様に増幅用偏波面を90度回転する偏波面回転手段7を設け、増幅用ファイバ2に励起光発生手段1で発生された複数の励起光とそれらと偏波面が直交される励起光とが同時に存在する様にすることもできる。図6(a)は増幅用ファイバ2の一端にフアラータ3、と全反射ミラー3、を設けて、増幅用ファイバ2に伝播された励起光を偏波面を90度回転し、再び増幅用ファイバ2に戻す様にしたものである。同図には増幅用ファイバ2に伝播されてラマン増幅された信号光を同ファイバ2から取り出すための手段は示していない。図6(b)は増幅用ファイバ2の一端にPMS33と偏波面保持ファイバ34とを設け、増幅用ファイバ2の一端から出力される励起光を主軸が90度回されて接続された偏波面保持ファイバ34により偏波面を90度回転し、再びPMS33を通じて増幅用ファイバ2の一端に入力するようにしたものである。

【0083】(光中継器の実施形態1)図7は本発明のラマン増幅器を用いて構成された光中継器の第1の実施形態であり、光ファイバ伝送路8中に挿入された同光ファイバ伝送路8における損失を補償する光中継器の例である。この光中継器は図1、2、3に示した様なラマン増幅器9の後段に希土類添加ファイバ増幅器(以下、EDFAと記載)され、更にEDFA10に電力が供給されており、光ファイバ伝送路8に伝送される信号光がラマン増幅器9に入力されて増幅され、更にEDFA10に電力が供給されたものである。利得調整はラマン増幅器9側で調整しても、EDFA10側で調整しても、その両方で調整しても良いが、全体で光ファイバ伝送路8の損失が補償される様にする。また、EDFA10が持つ利得の波長依存性と、ラマン増幅器9の波長依

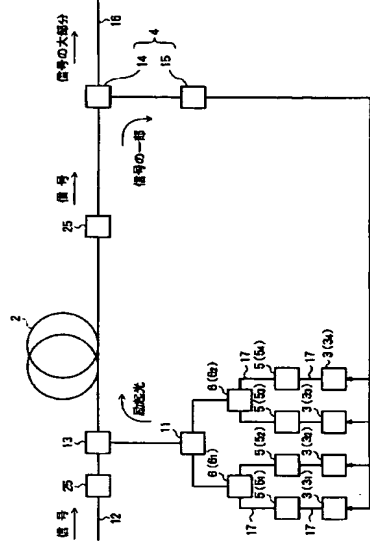
を制御する制御方法のブロック図。

- 【図28】ラマン増幅器の残留励起光を光ファイバ伝送路に伝送してラマン利得を得る方法の第1例を示したブロック図。
- 【図30】ラマン増幅器の残留励起光を光ファイバ伝送路に伝送してラマン利得を得る方法の第2例を示したブロック図。
- 【図31】ラマン増幅器の残留励起光を光ファイバ伝送路に伝送してラマン利得を得る方法の第3例を示したブロック図。
- 【図32】ラマン増幅器の残留励起光を光ファイバ伝送路に伝送してラマン利得を得る方法の第4例を示したブロック図。
- 【図33】ラマン増幅器の残留励起光をEDFAの励起光として活用する第1例を示したブロック図。
- 【図34】ラマン増幅器の残留励起光をEDFAの励起光として活用する第2例を示したブロック図。
- 【図35】ラマン増幅器の残留励起光をEDFAの励起光として活用する第3例を示したブロック図。
- 【図36】ラマン増幅器の残留励起光をEDFAの励起光として活用する第4例を示したブロック図。
- 【図37】分散補償用ファイバが挿入による雑音指数の劣化を示した説明図。
- 【図38】ラマン増幅器の励起波長と中継器の特性を示した説明図。
- 【図39】ラマン増幅器の励起波長と中継器の特性を示した説明図。

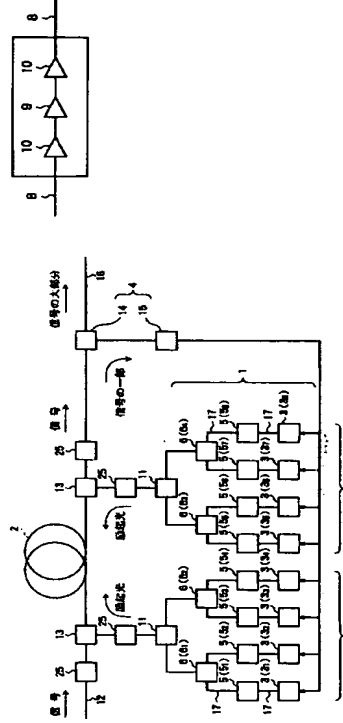
- 【図40】複数のラマン増幅器を多段接続してなる光中継器のブロック図。
- 【図41】単一の励起光源を有する励起光発生手段の一例を示したブロック図。
- 【図42】単一の励起光源を有する励起光発生手段の他の例を示したブロック図。
- 【図43】2つの励起光源を有する励起光発生手段の一例を示したブロック図。
- 【図44】2つの励起光源を有する励起光発生手段の他の例を示したブロック図。
- 【図45】分散補償用ファイバを増幅用ファイバとするラマン増幅器のブロック図。
- 【図46】従来の光中継器の一例を示したブロック図。
- 【図47】図46の光中継器における光レベルダイアグラムを示した説明図。

- 【符号の説明】
- 1 励起光発生手段
- 2 光ファイバ
- 3 ファブリペロー型の半導体レーザー
- 4 出力光パワー制御手段
- 5 外部共振器
- 6 偏波合成器
- 7 偏波面回転手段
- 8 光ファイバ伝送路
- 9 ラマン増幅器
- 10 希土類添加ファイバ増幅器

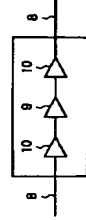
【図2】



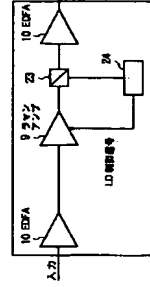
【図3】



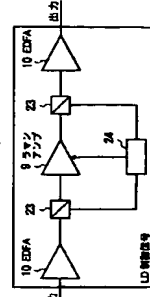
【図6】



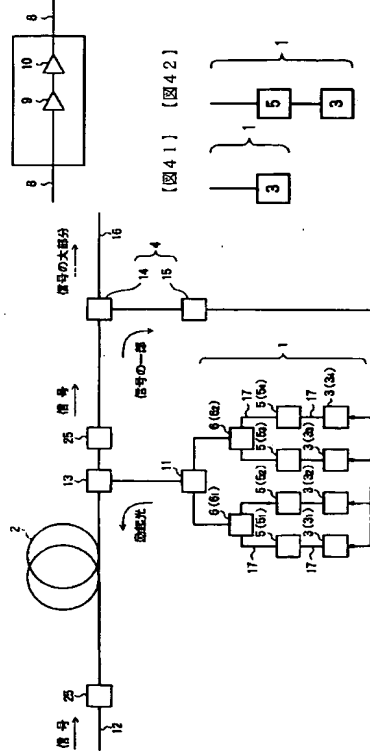
【図9】



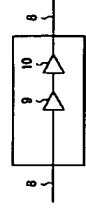
【図10】



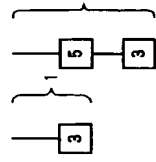
【図1】

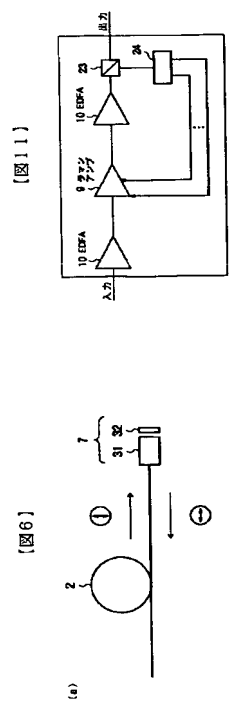
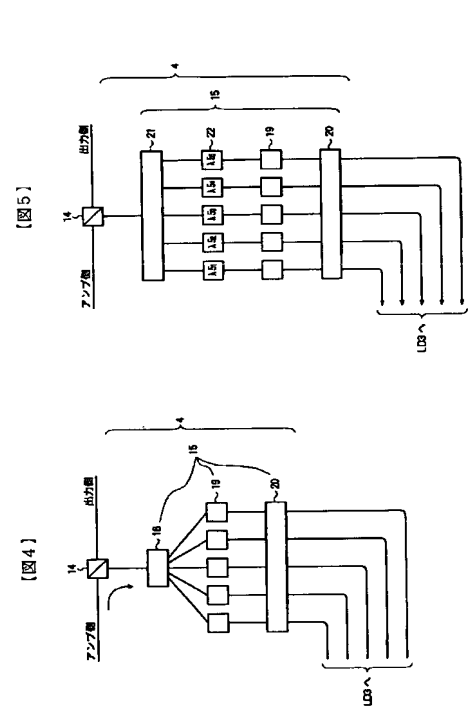
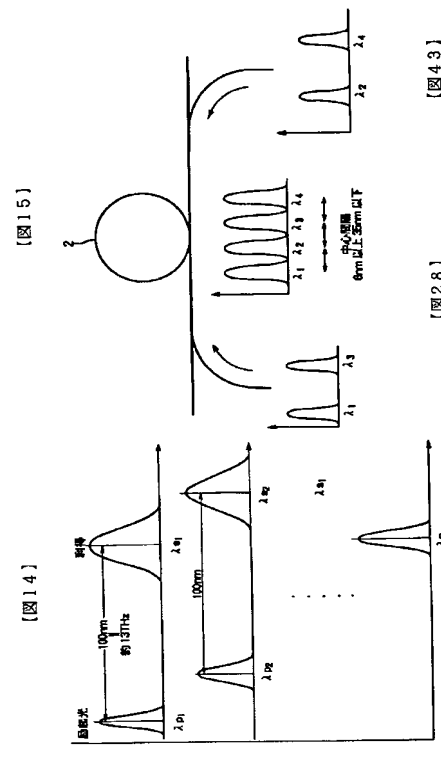
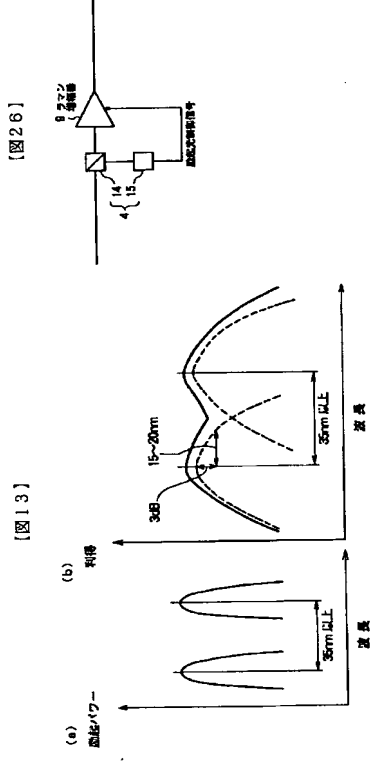


【図7】

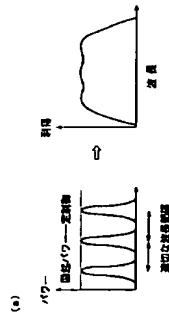


【図41】 【図42】

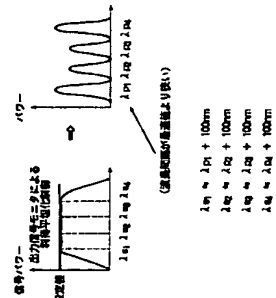




【図16】



(b)



【図17】

(a)

項目	①	②	③
中継器入力 P_{in} (dBm/dB)	-20±3	-15±2	-15±1
中継器出力 P_{out} (dBm/dB)	10	10	5
DCF 損失 L_d (dB)	10±2	8±1.5	8±1

(b)

項目	①	②	③
中継器1 利得 G_1 (dB)	20±3	15±2	15±1
中継器2 利得 G_2 (dB)	20±2	18±1.5	11±1
中継器3 利得 G_3 (dB)	20±3	25±2	20±1

【図20】

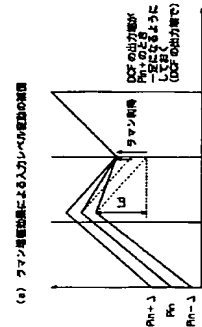
(a)

項目	①	②	③
中継器入力	-20±3	-15±2	-15±1
中継器出力	+10	+10	+5
DCF 損失	10±2	8±1.5	8±1

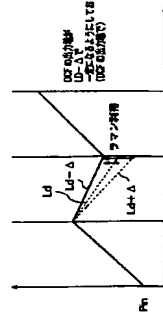
(b)

項目	①	②	③
中継器1	12	13	13
中継器2	10	10	10
中継器3	17±5	10±3.5	3±2
中継器4	20±3	25±2	20±1

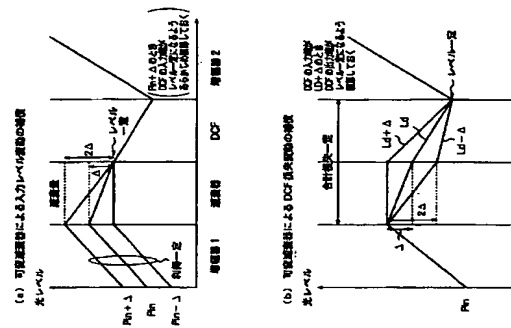
【図21】



(b)

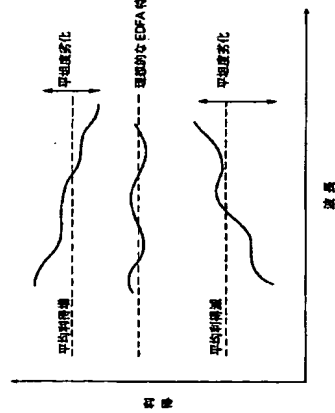


【図19】

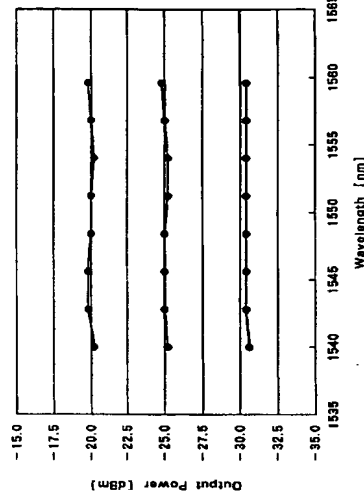


【図18】

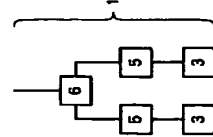
EDFAの利得特性と平均波長の関係



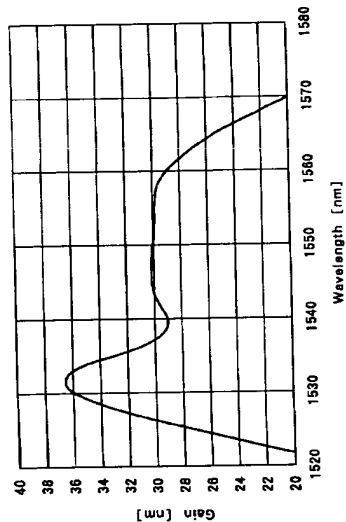
【図22】



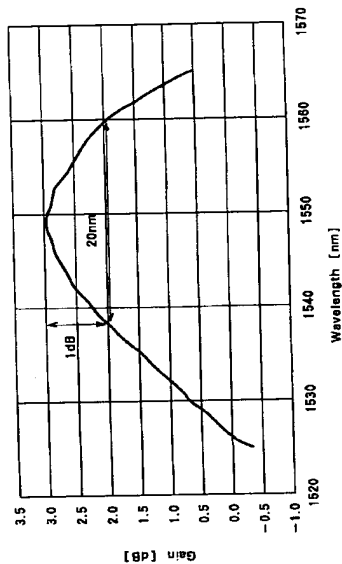
【図44】



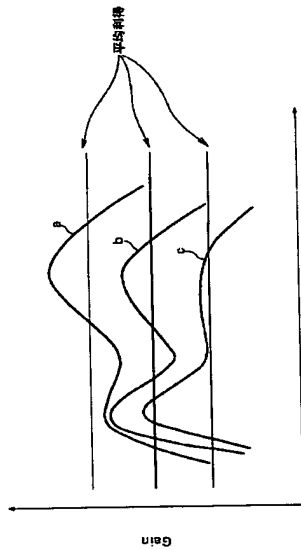
【図23】



【図25】

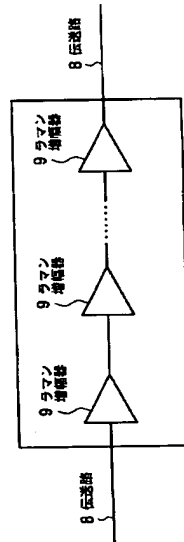


【図24】

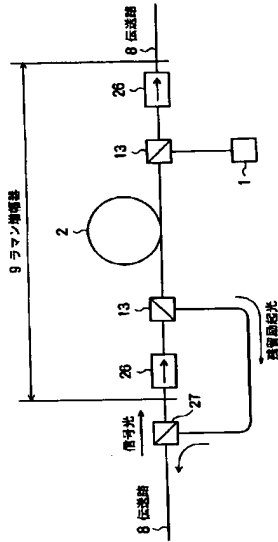


波長

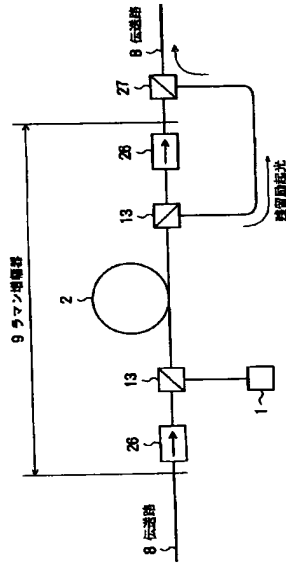
【図40】



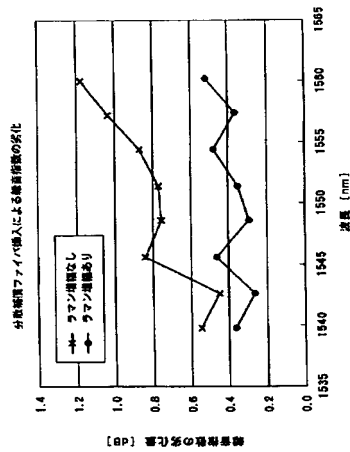
【図29】



【図30】



【図37】



【図39】

